中華農業研究 (Jour. Agric. Res. China) 33(2): 153～158 (1984)

二氧化硫爲害臺灣重要作物徵狀診斷研究[1]

林茂盛　陳美華　張瑞明[2]

摘要：本報告係空氣汚染農作物系列研究之一，其中特別著重二氧化硫爲害作物之外表徵狀與內部結構之改變薰蒸試驗於一個可以控制溫度、溼度和光度之生長箱內進行。試測作物包括水稻、玉米、甘蔗、甘藷、香蕉、大豆、綠豆、花生、蕃茄、菸草、木瓜、蕃石榴、胡瓜、多瓜、青椒、包心菜、空心菜、小白菜、白蘿蔔、櫻桃蘿蔔、花椰菜、高麗菜、洋葱、菊花、彩葉芋、彩葉草、指甲草、蕨類、落地生根、百慕達草等30種。作物受害徵狀約可分爲5類，但主爲葉尖、葉緣乾枯，葉脈間呈白褐或黃褐或紅褐狀斑塊物或斑點狀，受害嚴重時，植株全被漂白脫水而致凋萎。不同濃度二氧化硫之爲害，因作物種類不同而異。另以石腊切片鏡檢與超薄切片電子顯微鏡檢視，發現作物受害主要發生於葉肉細胞內之葉綠體部分。其中之 grana 和 frct 先膨脹後再斷裂成顆粒狀聚集，葉綠體膜也溶解消失。

根據臺灣省環境衛生實驗所（今省環保局）之調查資料顯示[1,2]臺灣地區主要空氣汚染物依次爲二氧化硫、氯氣及氟化氫三種。二氧化硫之來源一爲化石燃料如煤及原油之燃燒而排放，一爲硫氧化物有關製造工廠所排放。可能發生二氧化硫汚染的工廠，如硫酸廠、煉油廠、煉銅廠、火力發電廠、磚窯廠及一般工廠之重油鍋爐等。本省有關空氣汚染作物之研究非常缺乏，常須引用美日諸國之資料，但此等資料大多適用於溫帶作物，對於亞熱帶地區的臺灣並不太適用。爲求了解臺灣主要作物受二氧化硫爲害的徵狀，特選定民國七十年、七十一年度臺灣地區受空氣汚染爲害農作物[3,4]爲主，進行薰蒸試驗，俾建立本省重要作物受二氧化硫爲害之圖鑑，以供日後空氣汚染爲害鑑定之參考。

材料與方法

一、植物材料：包括水稻、玉米、甘蔗、甘藷、香蕉、大豆、綠豆、花生、蕃茄、菸草、木瓜、蕃石榴、胡瓜、多瓜、青椒、包心菜、空心菜、小白菜、白蘿蔔、櫻桃蘿蔔、花椰菜、高麗菜、洋葱、菊花、彩葉芋、彩葉草、指甲草、蕨類、落地生根、百慕達草等30種。

二、植物栽培：（一）水稻由種子播種長成秧苗後，栽種在$\frac{1}{5000}$Acre 盆栽盆內，土壤由農試所農場中取得。（二）果樹如香蕉係採自田間蕉園幼蕉，蕃石榴由果苗圃取得幼株。甘蔗、甘藷、彩葉草、落地生根等採用扦插繁殖。菊花、彩葉芋、指甲草、蕨類等採用分枝繁殖。其他則用種子播種。（三）除水稻、香蕉外，其他皆採用5吋至7吋口徑的塑膠盆，盆栽土是1：1泥炭土（peat）以及蛭石（Vermiculite）混合而成。使用自動澆水設備供給植物生長所需之養分，此營養液係採用美國園藝學會基本營養液（$\frac{1}{2}$濃度之Hoaglands's Solution）。

三、薰蒸設備：生長箱可控制溫度、溼度、光度。本試驗之溫度爲晝 25°C，夜 20°C，相對溼度

1.臺灣省農業試驗所　研究報告第 1157 號。本研究曾獲農發會補助（72農建—4.1—產178）。試驗初期規劃，由本所前約聘技師鄔咸白博士主持及指導。

2.本所農化系助理研究員、助理、助理。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。

70%，光線强度爲 7000 Lux 。薰蒸箱設於生長箱內，由壓克力製成，箱內對角之上方有兩個循環扇，可使氣體充分混合，並可減少植物葉面界面阻力 (Boundary Layer resistance) 。濃度稍高的 SO_2 氣體裝在鋼瓶中，由調節器調節其流量後通到氣體混合裝置， 與由氣體壓縮機打出之空氣以適當比率混合，再通入薰蒸箱內，此薰蒸箱完全密閉，僅留一孔使空氣與 SO_2 混合氣體，經由 Teflon 管將氣體引導到 SO_2 分析儀 ，而連續的記錄其濃度 。SO_2 的測定係由 Thermoelectron model 43 pulsed fluorescent SO_2 analyzer 測定之，此 analyzer 用 Thermoelectron model 43 permeation calibrator 校正。

四、薰蒸試驗：植物於溫室中生長至最盛期時，移至薰蒸箱 (未通 SO_2 氣體) 內，讓其在此箱中一段時間以適應人工環境後，再移入有 SO_2 氣體之薰蒸室內進行試驗。薰蒸一晝夜後再將植物放回溫室 2 至 3 天左右，讓其受害情形顯示出來，記載植株受害情形，並拍攝受害圖片。

五、石腊切片觀察植物受害情形：取受害葉子切塊，經固定 (Craff Ⅲ soln) 、脫水 (n-butanol, 95% Et-OH, H_2O) 包埋 (n-butanol+paraffin) 、 切片、 脫腊、脫水 (xylene, Et-OH) 、染色 (1% Safranin O 等) 手續後，於顯微鏡 (Nikon Microflex HFX) 下觀察照相。另取正常生長葉片做爲對照。

六、超薄切片電子顯微鏡觀察植物受害情形：切取正常與受害葉片組織塊 ， 經固定 (Glutaraldehyde in P-buffer, osmium tetroxide in distd. H_2O) 、 脫水 (Et-OH, Propylene Oxide & Spurr) 、樹脂包埋，再於 Sorval MT-2B (Du Pont) 超薄切片機切片後染色，最後於 Hitachi H-300 穿透式電子顯微鏡下檢視切片及照相。

結果與討論

一、二氧化硫爲害臺灣作物之徵狀診斷：

植物受二氧化硫爲害之徵狀，先爲水漬狀斑點或斑塊，然後逐漸於葉尖、葉緣乾枯，葉脈間呈白褐、黃褐或紅褐狀斑塊物或斑點狀，受害嚴重時，植株全被漂白脫水而致凋萎 [5,6,7,8] 。作物受二氧化硫爲害之徵狀大致如上所述，但每一種不同的作物有其特定的受害特徵，如果要了解每一種作物之受害實況，而做爲田間作物空氣汚染物受害鑑定之用時，則必須參考每一種作物彩色受害圖片及圖鑑 (本研究室正製作中) ，此處限於篇幅，不克一一列擧各種作物受害圖片，僅將作物受害情形分成幾大類，每一類擧出一代表性圖片，以供參考： (一) 單子葉植物葉片中呈現許多褐色條紋斑者，如水稻 (圖 1) 先呈現漂白狀條紋後，再於白色條紋外緣又變成一圈黃褐狀物；又如甘蔗先產生漂白狀條紋或斑塊，繼轉成黃褐色後再於其外圍形成一些紅褐斑紋。 (二) 植物於葉脈間隙產生水漬狀傷害後，再轉成漂白狀白化斑塊者，如木瓜 (圖 2) ，又如白菜葉緣亦白化，高麗菜除白化外，葉緣也可能捲曲，其他如空心菜、包心菜、青椒、白蘿蔔、花椰菜、彩葉芋等亦有類似之白化、灰白化或灰褐化乾枯之受害徵狀 (三) 植物受害部位主要發生於葉尖者，通常爲草類，如百慕達草，葉尖先白化後再轉成黃褐狀乾枯捲曲，又如洋葱則先於葉尖 (及其他部位) 灰白化後，轉成黃褐狀乾枯捲曲，他如玉米常於葉尖葉緣產生漂白化乾枯。(四)植物於葉脈間隙產生黃褐狀之斑點或斑塊者，如胡瓜 (圖 3) 爲葉脈間黃褐斑塊，而甘藷爲葉間產生許多小黃色斑點，而多瓜、綠豆除了脈間黃化外，還可能產生褐銹斑塊，花生則爲葉緣一周黃褐狀物，落地生根亦沿葉緣乾枯，蕨類植物爲沿小葉脈乾枯，或者整片小葉乾死，香蕉爲葉間黃褐或灰褐色斑點或斑塊，其他如大豆、蕃茄、櫻桃蘿蔔、菸草、菊花、彩葉草、指甲草等皆爲葉脈間黃褐化斑點或斑塊 (五) 植物於葉脈間產生紅褐狀斑塊物，如蕃石榴 (圖 4) ，受害初期先於脈間產生水漬狀漂白斑，繼而成爲黃褐斑，最後轉變成爲紅褐斑。 (六) 高濃度下嚴重傷害時，植物植株綠色部分全被漂白，而致整株凋萎。

二、作物對於二氧化硫之敏感性

各種作物對於二氧化硫之敏感性各不相同，有些於低濃度下即可受害，有些則於甚高濃度下尚可

生存。作物對於二氧化硫之敏感性又受環境因子之影響甚大，如溫度、光度、溼度等，甚難一概而論。今僅就初步試驗結果，依作物受害程度粗分為强受害、中等受害、輕微受害等三級（將來依環境因子做進一步的修正），（一）强受害，即植物於低於 1ppm 濃度二氧化硫（24小時薰蒸）下即可顯現受害徵狀者，如洋葱、大豆、玉米、木瓜、菊花、彩葉草、蕨類、落地生根、彩葉芋等（二）中等受害，即植物於 1—2ppm 濃度間，始產生受害徵狀者，如水稻、甘藷、綠豆、胡瓜、空心菜、多瓜、青椒、蕃茄、櫻桃蘿蔔、菸草、小白菜、蕃石榴、指甲草、百慕達草等，（三）輕微受害，即植物須於二氧化硫濃度高於 2ppm 以上時，始可發生受害徵狀者，如甘蔗、香蕉、花椰菜、高麗菜、白蘿蔔、包心菜、花生等等。

三、二氧化硫處理過作物葉部組織之石腊切片鏡檢與超薄切片電子顯微鏡觀察．

以二氧化硫處理過之甘蔗、甘藷、香蕉、綠豆、空心菜、胡瓜、洋葱和木瓜等八種作物的葉部石腊切片觀察鏡檢，發現植物受害係因葉細胞葉綠體被破壞，先膨脹而後脫水萎縮，是屬於氧化漂白作用（如圖５、６）。另以上述處理過之作物（木瓜除外）行超薄切片以電子顯微鏡觀察葉綠體內部被破壞之情形，發現葉綠體內之 grana 和 frets 先膨脹後再分散，之後可能斷裂或成扭曲狀或破碎成顆粒狀，最後葉綠體膜亦被溶解而消失（如圖７）。植物因葉綠體被破壞，內含物變形變質而光合作用能力也喪失。

參考文獻

1.臺灣省空氣污染影響農業實況調查及空氣污染區域改善研究工作報告・1978・臺灣省環境衛生實驗所。

2.臺灣省空氣污染影響農業實況調查及空氣污染區域改善研究工作報告・1979・臺灣省環境衛生實驗所。

3.臺灣省空氣污染影響農業實況調查改善及試驗研究工作報告・1981・臺灣省環境衛生實驗所。

4.臺灣省空氣污染影響農業實況調查改善及試驗研究工作報告・1982・臺灣省環境衛生實驗所。

5.大氣汚染による農作物被害症狀の標本圖譜・1976・農林省農林水產技術會議事務局。

6. Lacasse, N. L. and M. Treshaw (eds.). 1978. Diagnosing vegetation injury caused by air pollution. U. S. Environmental Protection Agency Handbook.

7. Manning, W. J. and W. A. Feder. 1980. Biomonitoring air pollutants with plants. Applied Science Pub., London.

8. Mudd, J. B. and T. T. Kozlowski (eds.) 1975. Response of plants to air pollution.

圖 1. Figure 1.	圖 3. Figure 3.
圖 2. Figure 2.	圖 4. Figure 4.

圖 1. 二氧化硫爲害水稻之情形。（褐色條紋斑）
Figure 1. SO_2 injury to rice (brown streaks)
圖 2. 二氧化硫爲害木瓜之情形。（脈間白化）
Figure 2. SO^2 injury to papaya (interveinal ivory)

圖 3. 二氧化硫爲害胡瓜之情形。（脈間褐化）
Figure 3. SO^2 injury to cucumber (interveinal browning)
圖 4. 二氧化硫爲害蕃石榴之情形。（脈間紅褐化）
Figure 4. SO^2 injury to guava (interveinal reddish-browning)

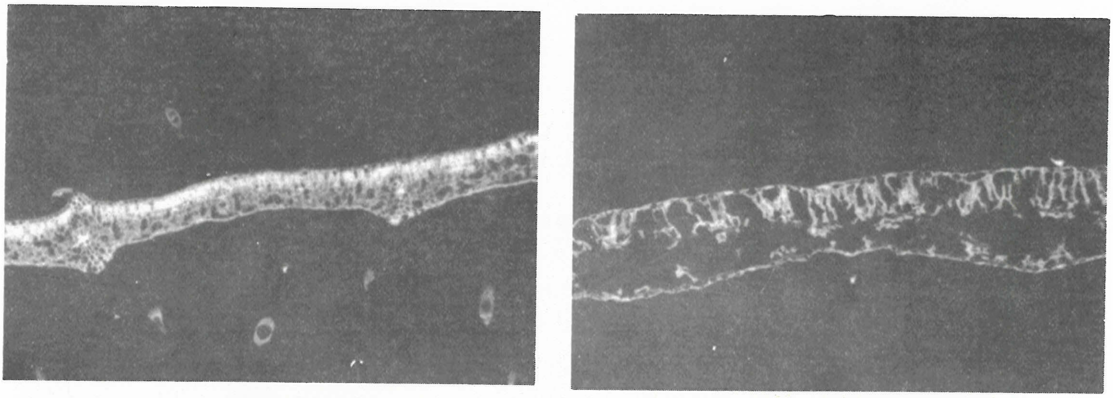

圖 5. 二氧化硫處理過之綠豆葉部切片，20倍。
(左) 正常生長下綠豆　　(右) 二氧化硫處理過綠豆
Figure 5. Paraffin sections of mungbean leaves treated with SO_2 (×20)
(Left) Normal plant　　(Right) plant treated with SO_2

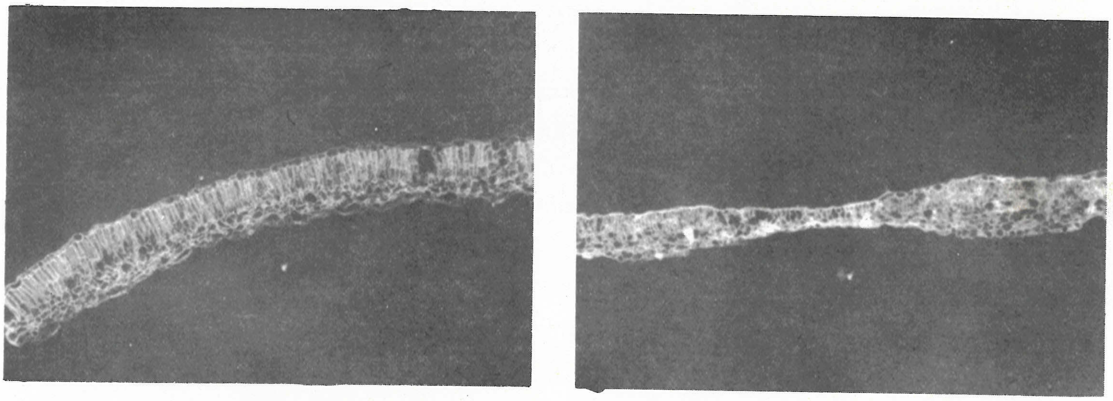

圖 6. 二氧化硫處理過之甘藷葉部切片，20倍。
(左) 正常生長下甘藷　　(右) 二氧化硫處理過甘藷
Figure 6. Paraffin sections of sweet potato leaves treated with SO_2 (×20)
(Left) Normal plant　　(Right) plant treated with SO_2

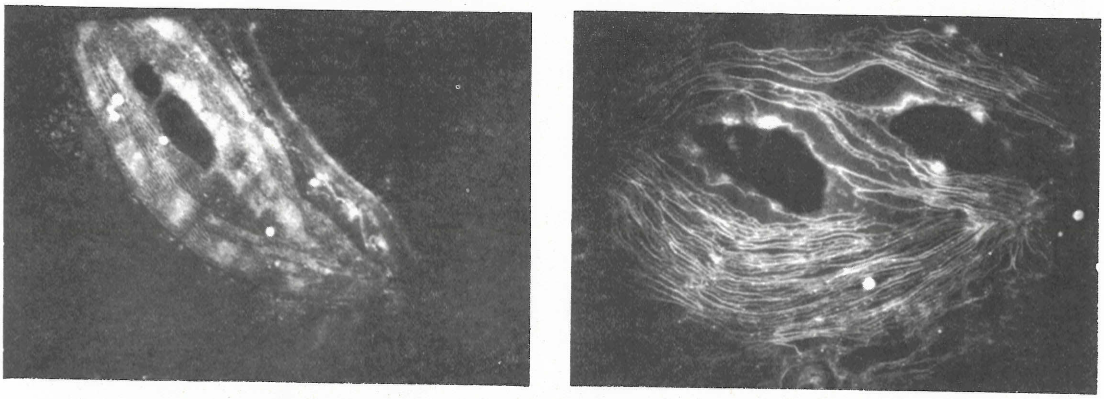

圖 7. 二氧化硫處理過甘藷葉綠體電子顯微鏡照相，20,000倍。
(左) 正常生長下甘藷　　(右) 二氧化硫處理過甘藷
Figure 7. Electron microscopy of the chloroplast of sweet potato leaves treated with SO_2 (×20,000)
(Left) Normal plant　　(Right) plant treated with SO_2

Research on SO_2 Injury to Important Crops of Taiwan[1]

Maw-sheng Lin, Mei-hua Chen and Jui-ming Chang[2]

Summary

This is the first part of a series of research on air pollutants injury to important crops of Taiwan. This research is aimed at studying symptons of SO_2 damage and the disorder of the chloroplast after SO_2 treatments. The SO_2 fumigation has been carried out in a transparent acrylic resin chamber fitted in a growth chamber with controlled temperature, moisture, and light intensity. The tested plants include rice, corn, sugar cane, sweet potato, soybean, mungbean, peanut, tomato, tabacco, papaya, guava, cucumber, wax gourd, green pepper, Chinese cabbage, green onion, chrysanthemum, fern, bermuda grass and four garden plants. Acute SO_2 injury to crops consists of interveinal (white, brown and reddish brown, etc.) and marginal bleaching. The whole plant will be bleached and wilted and eventually died in a severe SO_2 damage. Relative sensitivity of crops to SO_2 injury varied among crop species. The ultrastructure of plants after SO_2 damage was also studied. The paraffin section technique and trans mission electron microscopy revealed a breakdown of the chloroplast after SO_2 treatment. The observed alterations in the chloroplast were a swelling of the grana and frets, a granulation of the stroma, and followed by a degradation of the chloroplast envelope and an aggregation of the cellular material.

1. Contribution No. 1157 from Taiwan Agricultural Research Institute. This study was supported in part by a grant from the Council for Agricultural Planning and Development, Executive Yuan, Republic of China. We would like in particular to thank Dr. Allen, S. P. Lang, a visiting scientist, for his assistance and instruction in the instrumental design and operation.

2. Assistant Agricultural Chemist and Assistants, respectively, TARI, Wu-feng, Taichung Hsien, Taiwan431, R. O. C.